

バイオガスから高純度水素を 製造する膜反応器の開発

工学院大学 先進工学部 環境化学科
教授 赤松 憲樹

2022年12月1日

新技術の概要

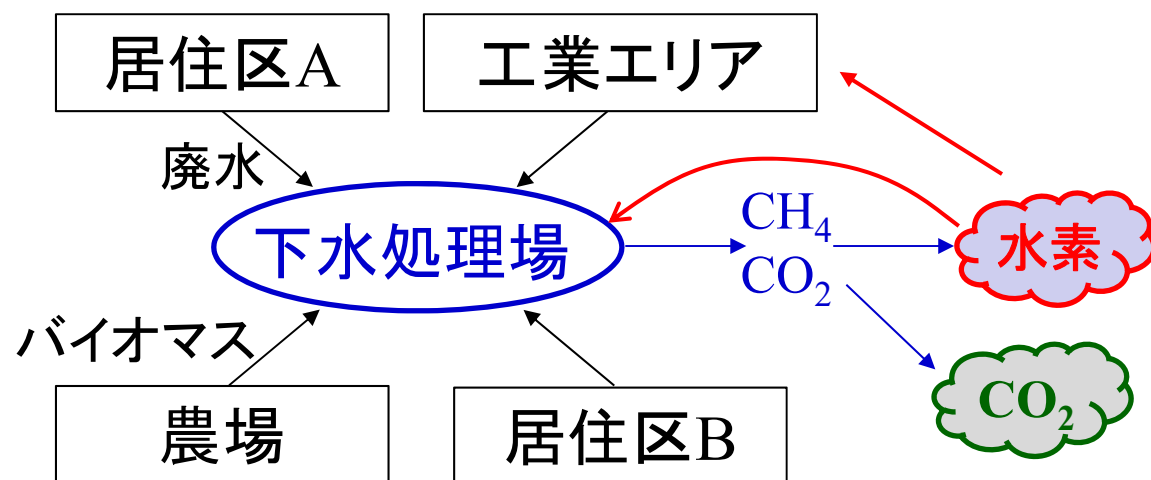
- バイオガスから高純度水素を製造する膜反応器
- 同時に高純度二酸化炭素を回収可能
- 水素分離膜として 800 °C 程度まで使用可能なシリカ膜を搭載

背景：バイオガス利用

- 下水道事業における電力消費量の低減が急務
- 下水汚泥のエネルギー利用割合は 16～19 %: 消化ガス発電 etc
- 下水処理場には地域に広く薄く存在するバイオマスが自動的に集積



「下水汚泥の高効率エネルギー利用システム」の確立へ大きな期待

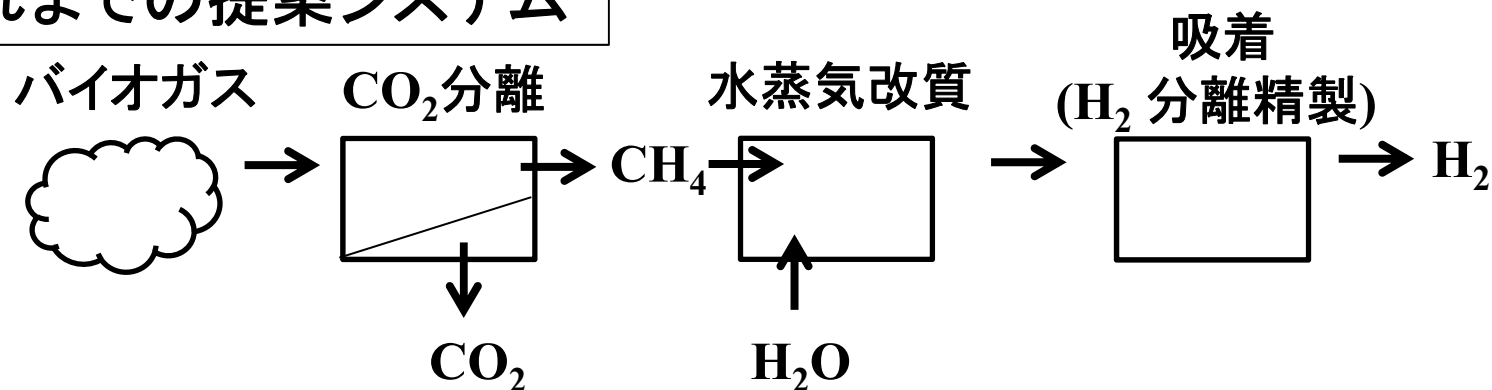


下水処理場＝
下水処理
＋エネルギー生産
＋二酸化炭素回収

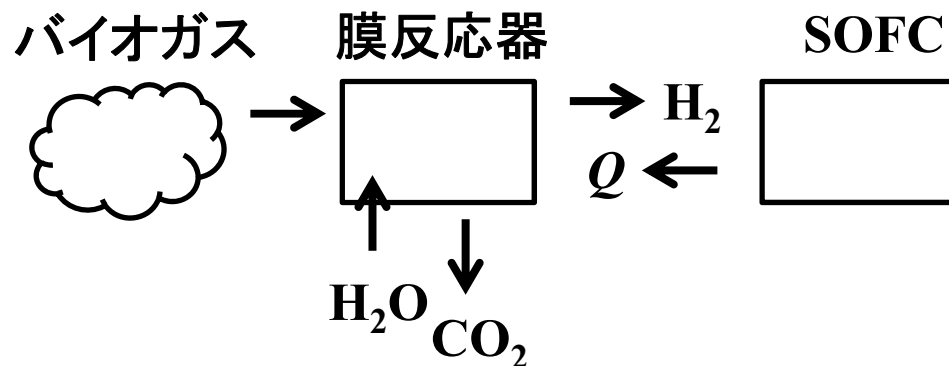
提案する新規バイオガス利用システム

下水汚泥をバイオマスエネルギー源とし、膜反応器と高温作動型SOFCを組み合わせたシステムを構築する

これまでの提案システム



我々の提案するシステム

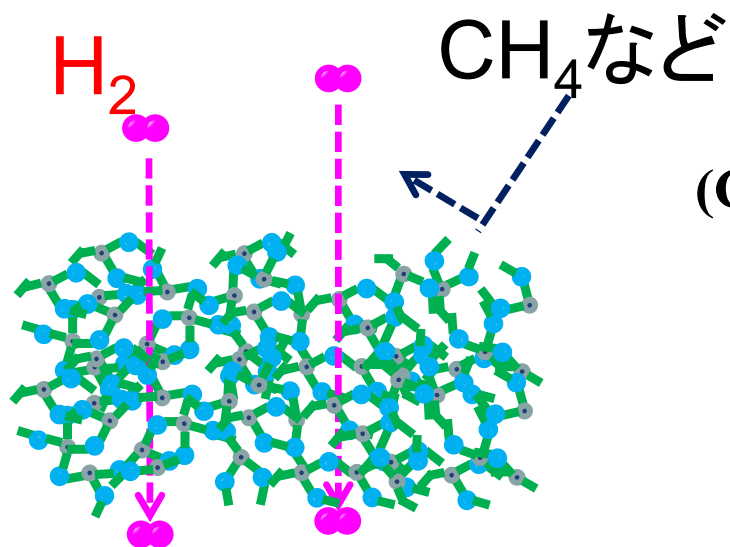


＜提案システムの特長＞

- ・ 前処理の CO₂分離が不要
- ・ 水素製造反応の低温化
- ・ 後段の吸着分離が不要
- ・ CO₂ の一括分離回収が可能
- ・ エネルギー効率向上

バイオガスから水素を製造する膜反応器

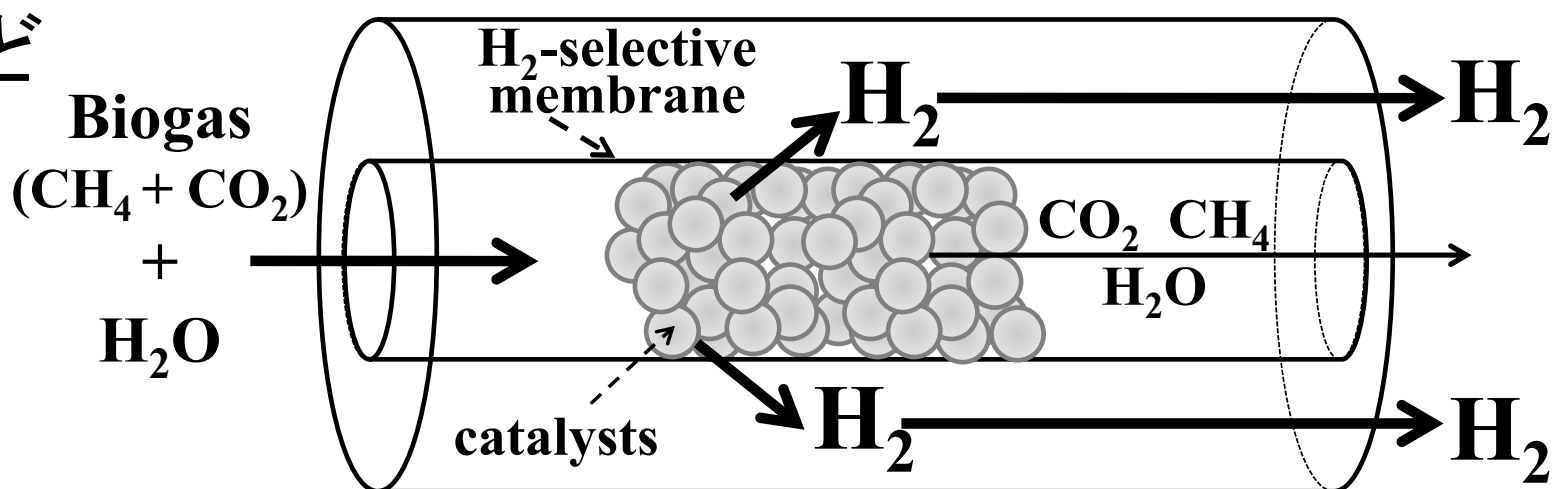
＜水素分離シリカ膜＞



アモルファスシリカネットワークが
細孔として機能し、分子サイズの
小さな H_2 のみ透過する

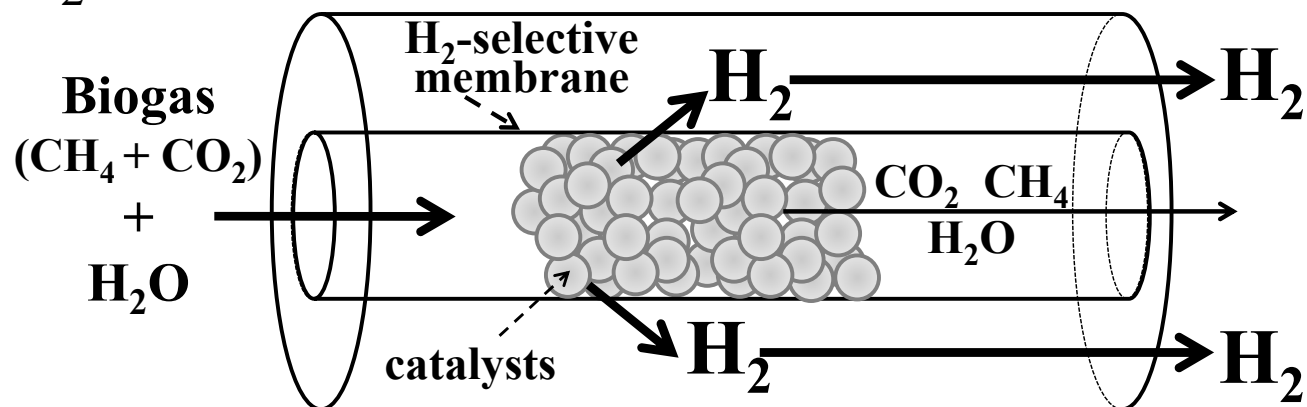
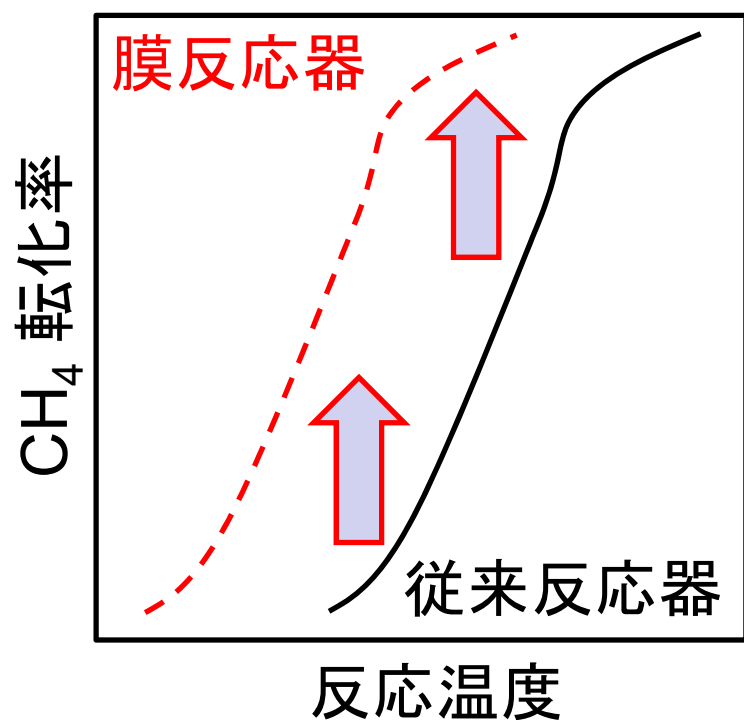
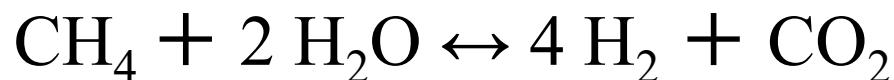
⇔ Pd 膜

＜膜反応器＞



触媒（反応）と膜（分離）の統合に
より、反応で生じた水素を直ちに
膜で分離する

膜反応器を用いる利点

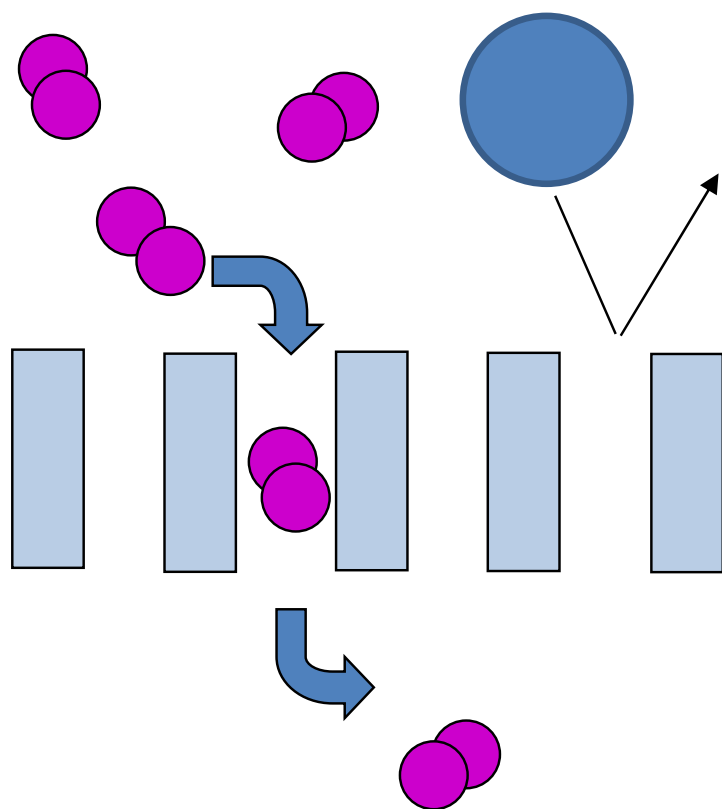


高転化率では、反応器出口から
高純度二酸化炭素を回収できる

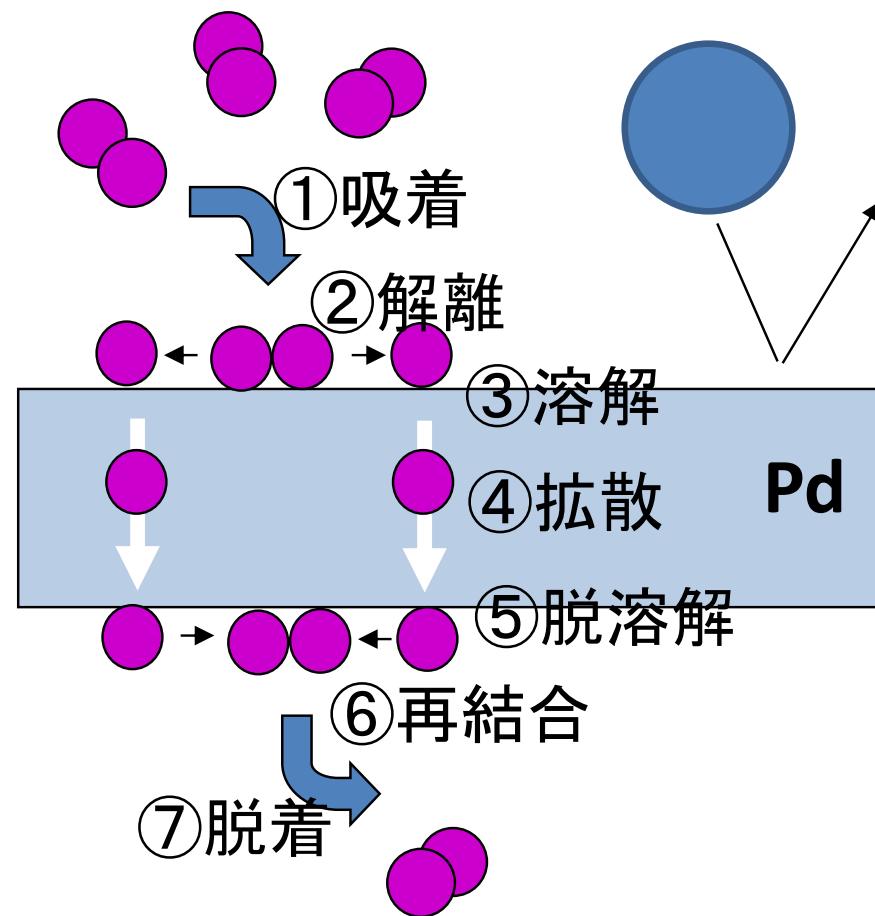
ルシャトリエの原理に基づき、
平衡制約を打ち破る水素製造が
実現できる

高温で使用可能な水素分離膜

シリカ膜

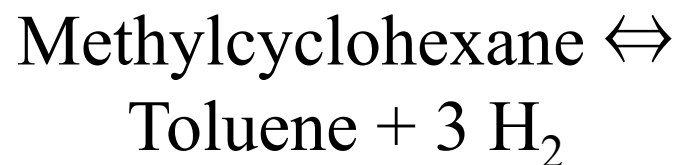


パラジウム膜

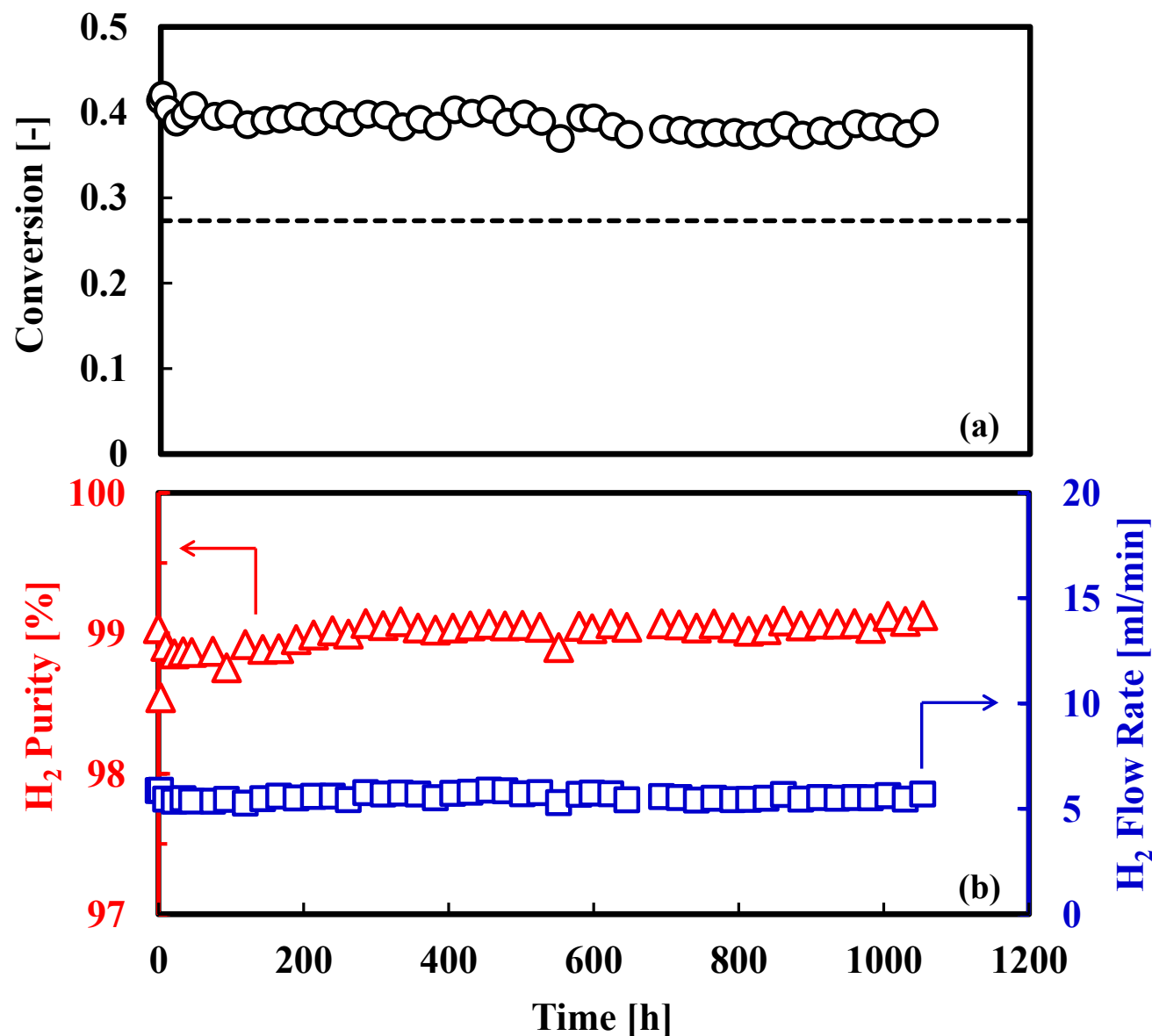


シリカ膜を用いた膜反応器の適用例

有機ハイドライド(水素
キャリア)の脱水素反応



その他, 硫化水素分解
による水素製造などに
適用例あり.

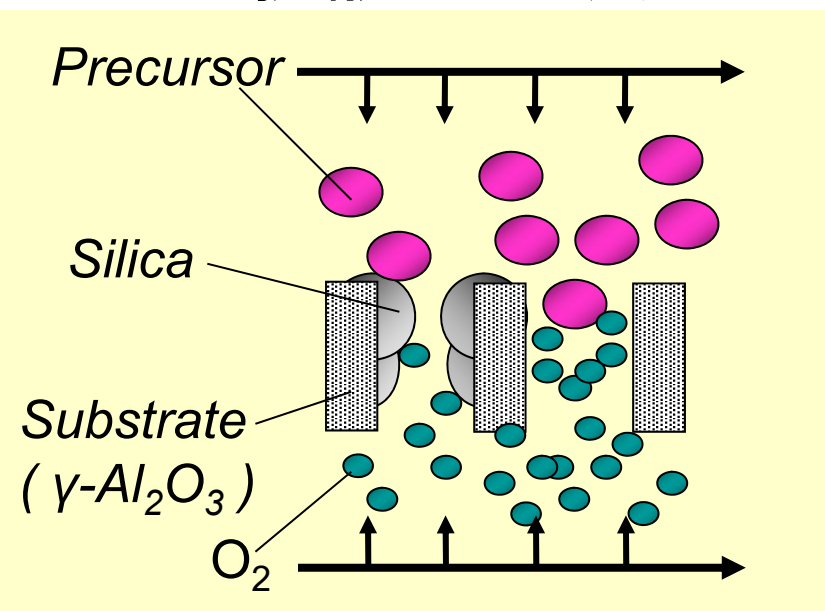


水素分離シリカ膜の作製：CVD法

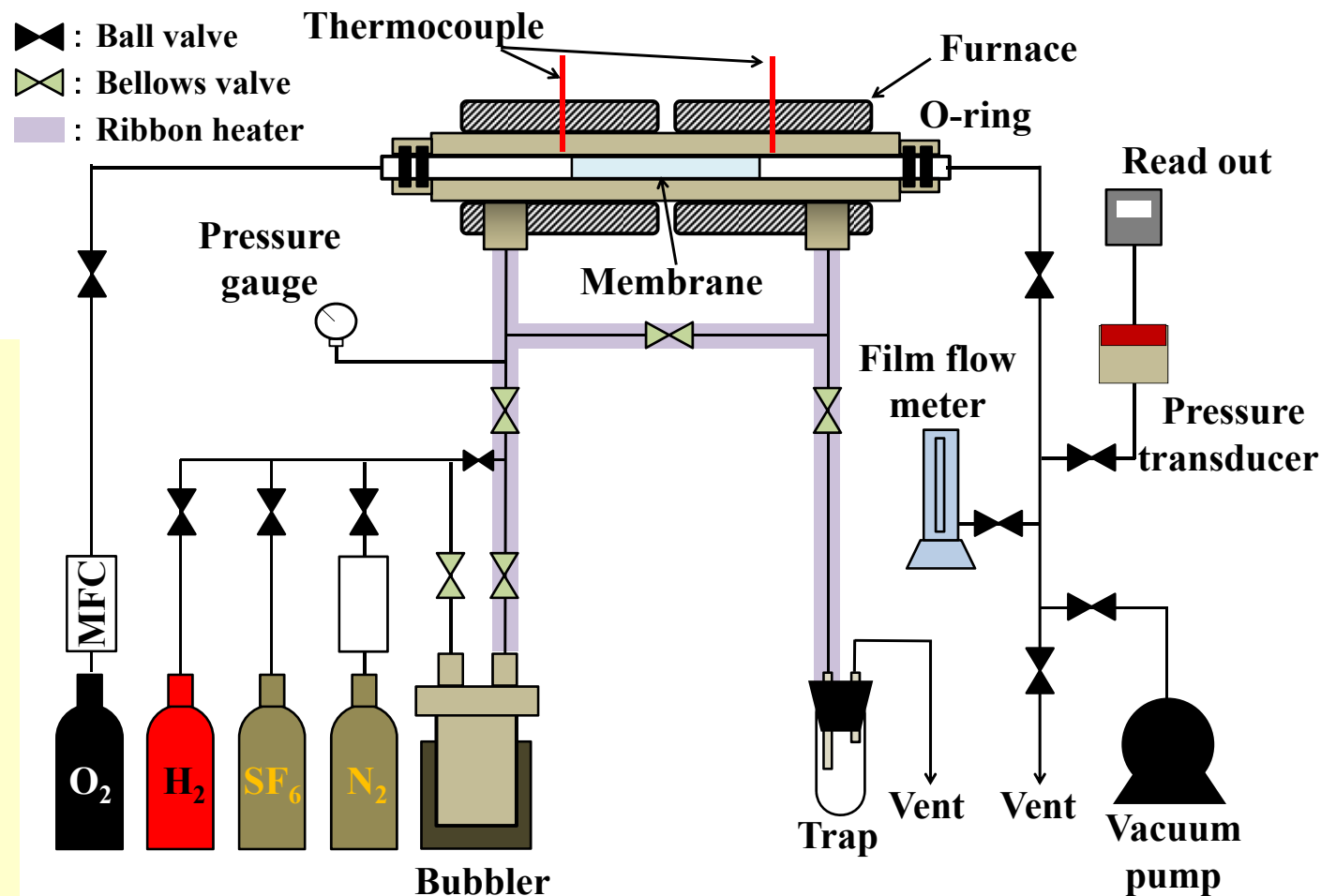
<膜外観>



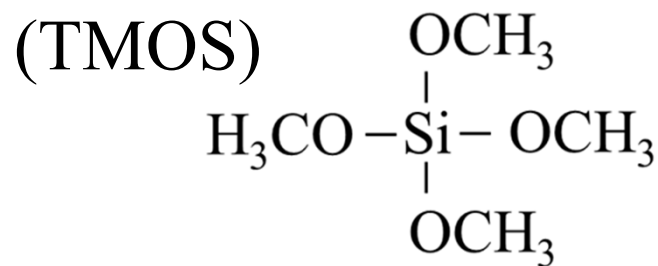
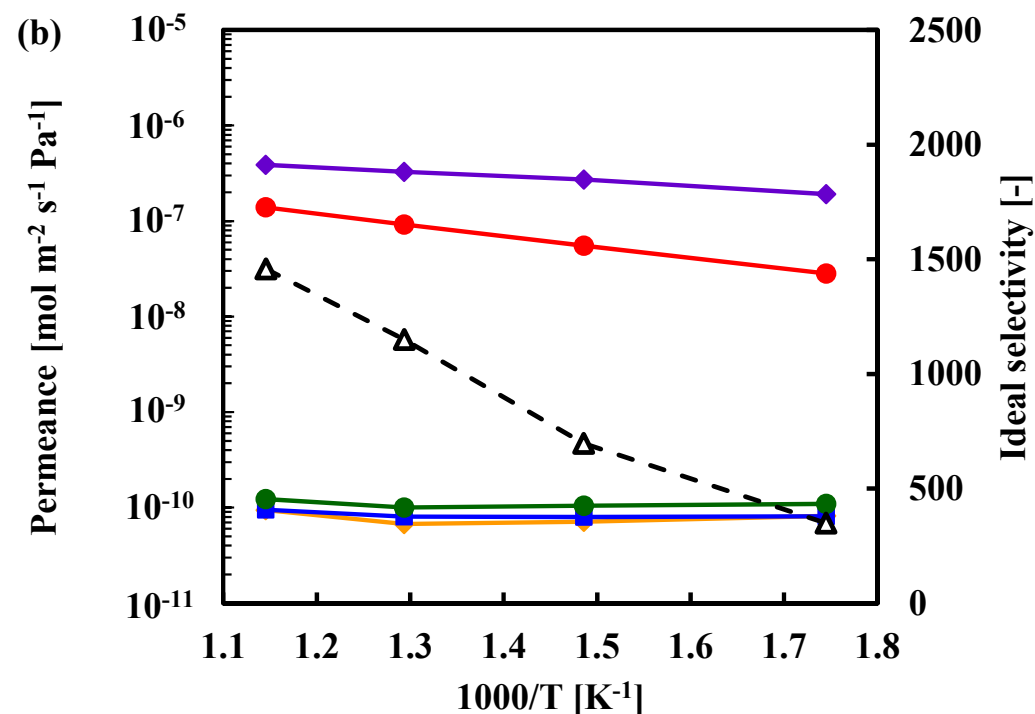
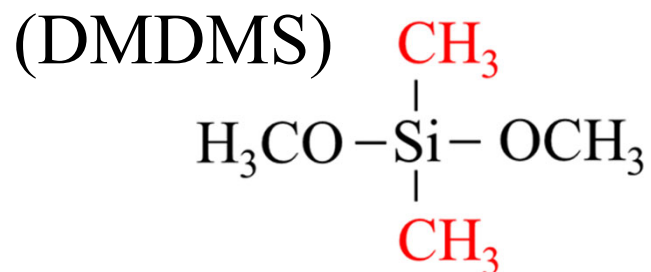
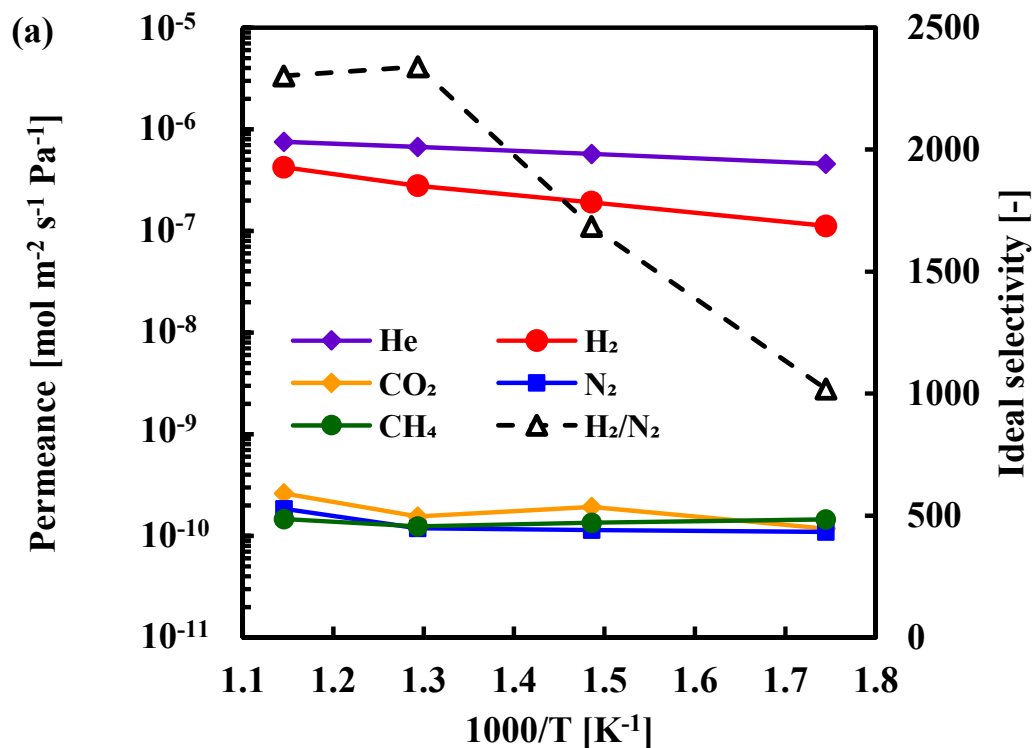
<対向拡散 CVD 法>



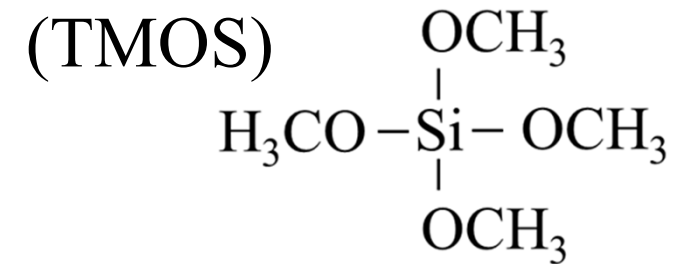
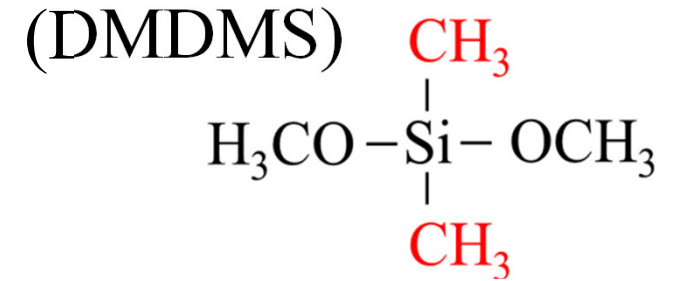
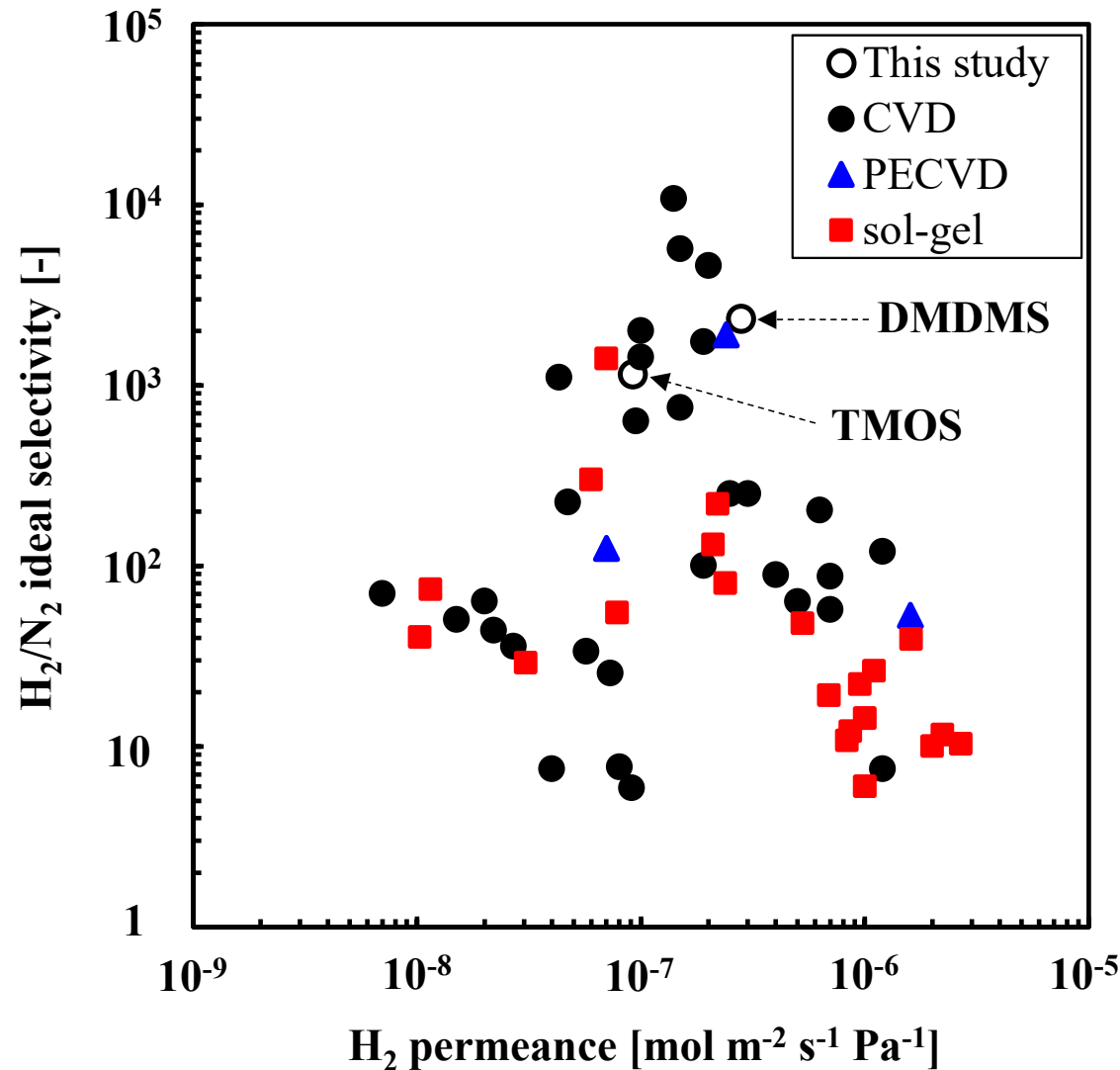
<CVD 製膜装置>



水素分離シリカ膜の性能

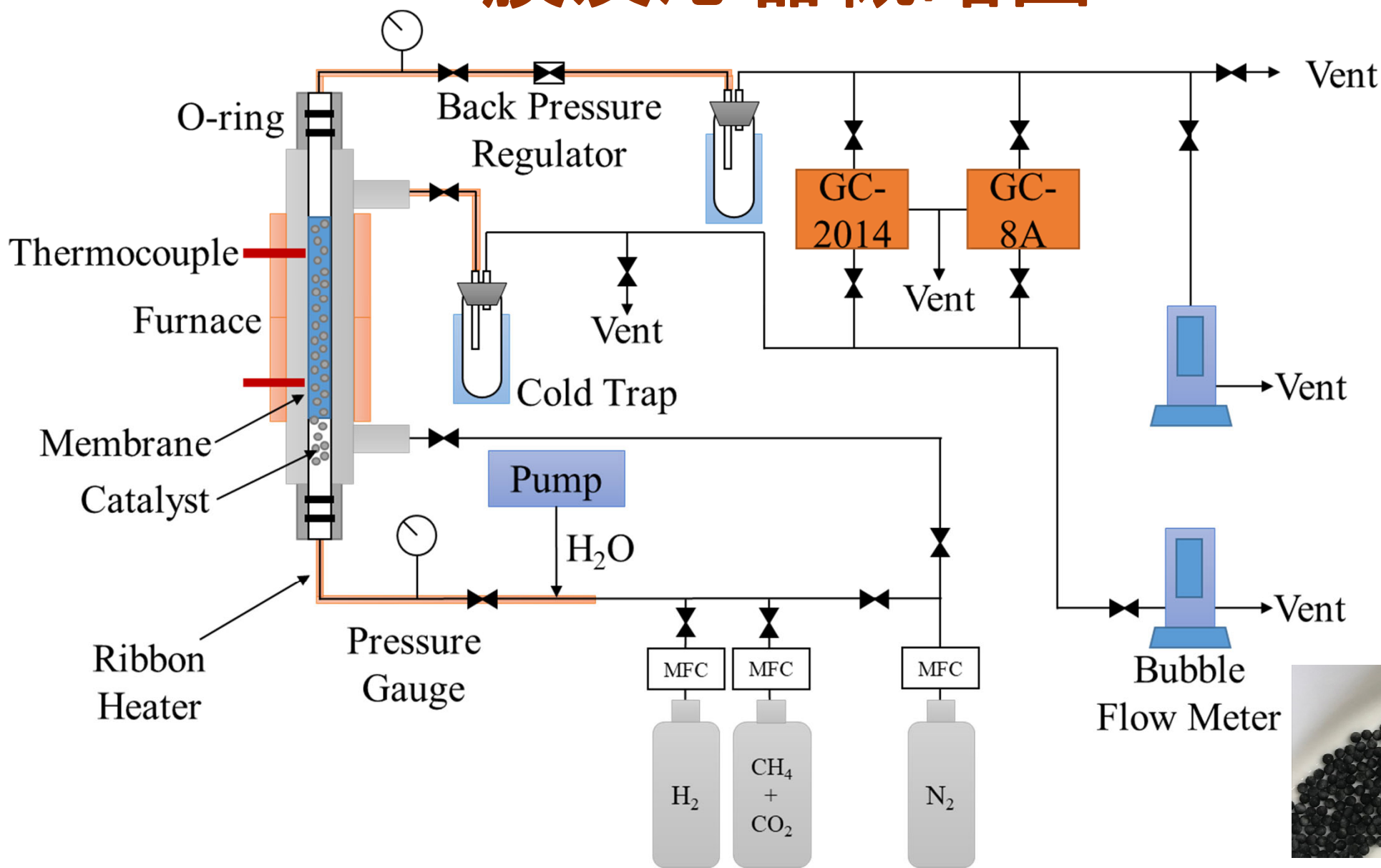


膜性能の比較



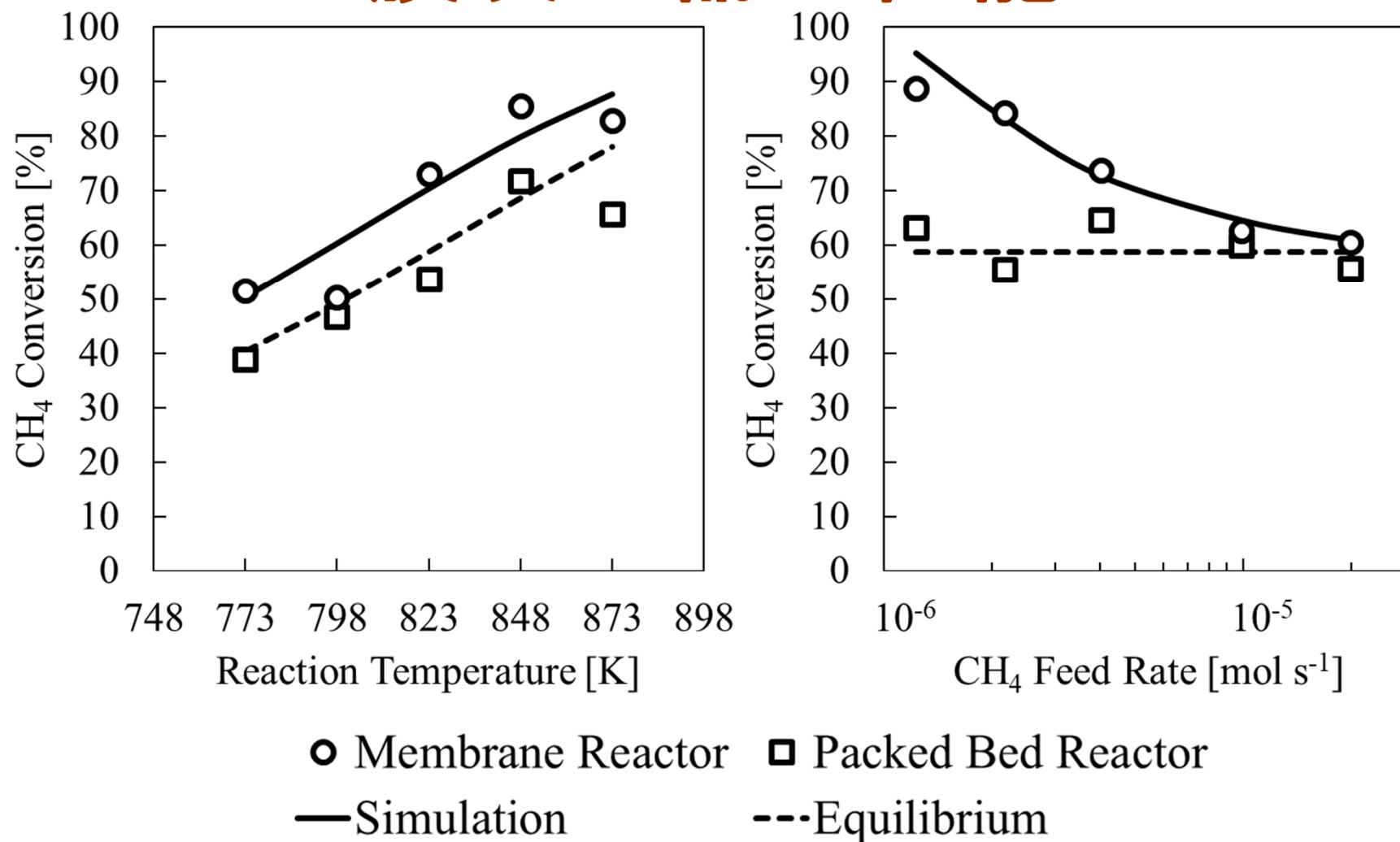
$\text{H}_2/\text{N}_2 > 10^3$ 以上の膜で, DMDMS膜はもっとも水素透過率が高い

膜反応器概略図



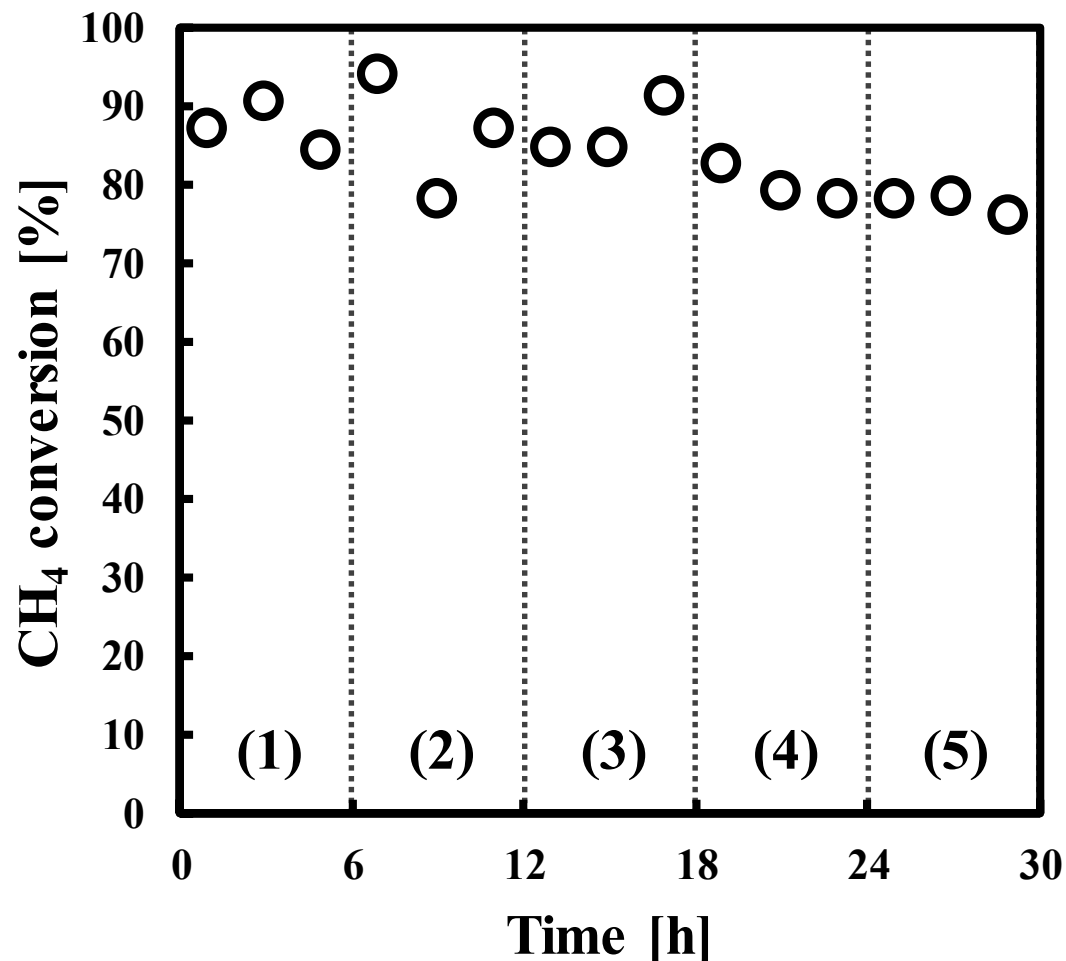
Rh/ Al_2O_3 触媒

膜反応器の性能



模擬消化ガス(CH₄ 60% + CO₂ 40%)をシリカ膜反応器に直接供給し、
高効率な水素製造を実現

組成変動に対する膜反応器の応答

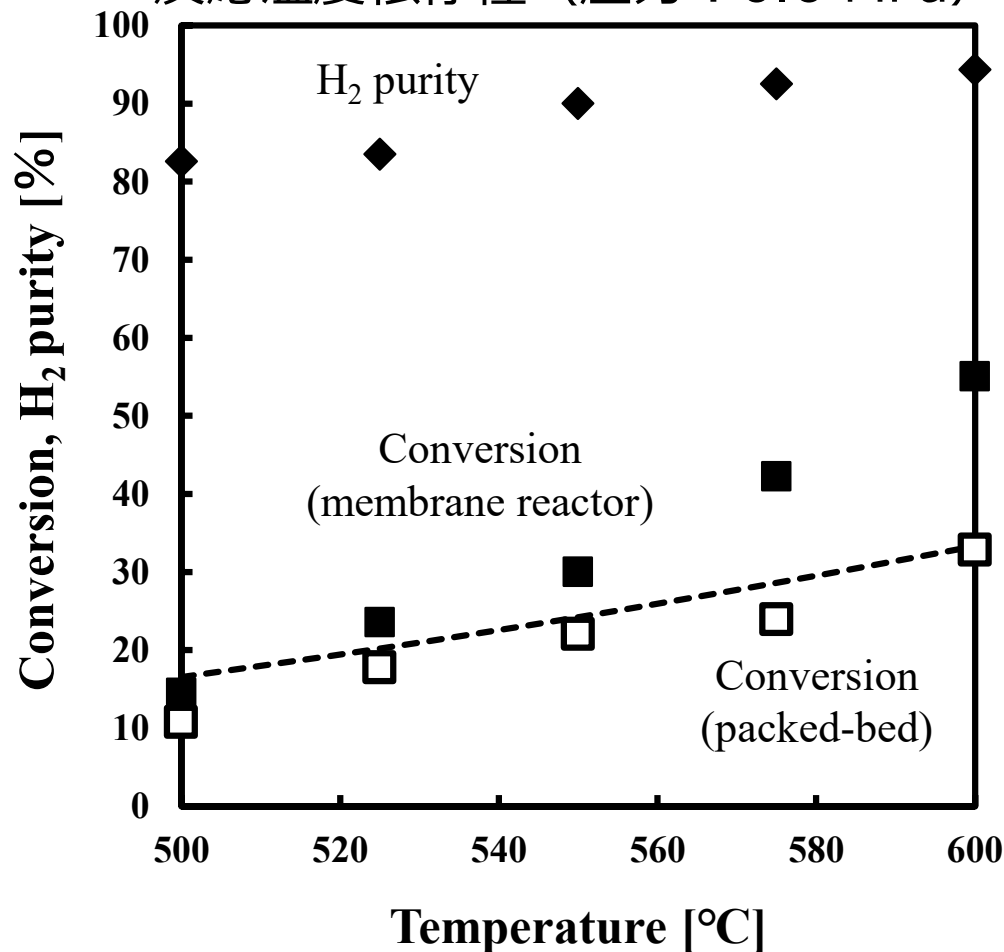


Time	Composition (CH ₄ :CO ₂)
(1), (3), (5)	60:40
(2)	50:50
(4)	70:30

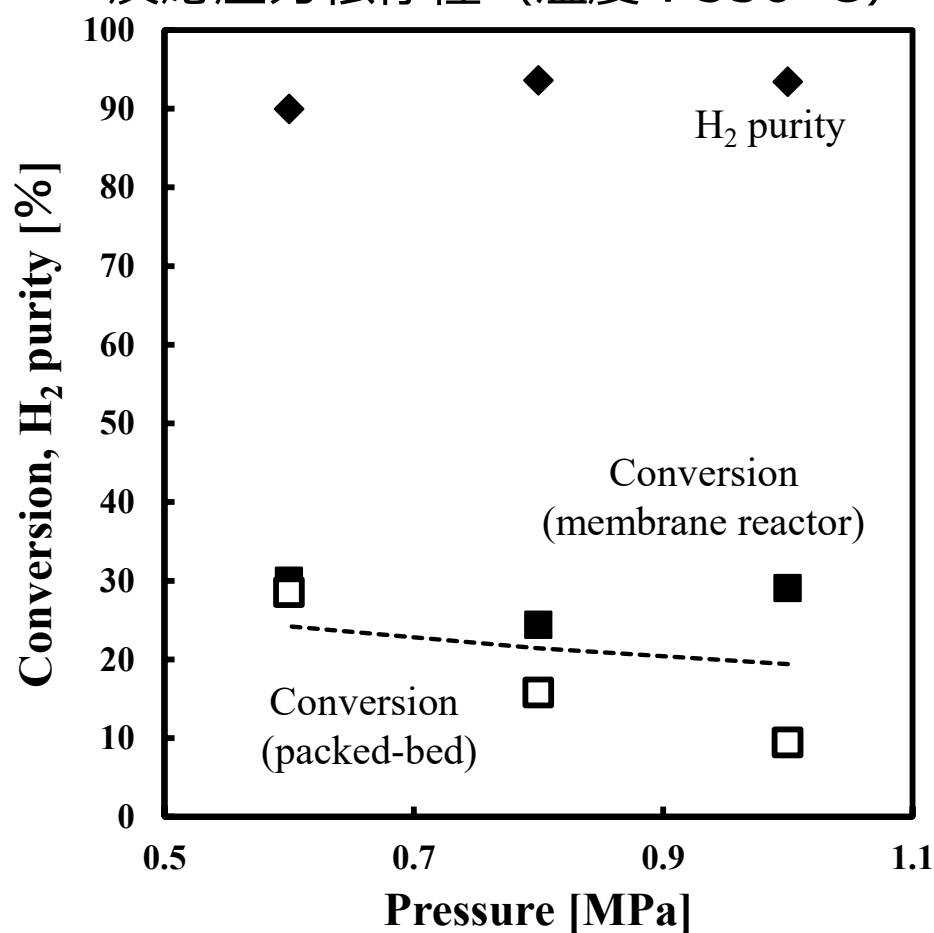
模擬消化ガスの組成変化(CH₄ 50%~70%)に依らず、シリカ膜反応器による
高効率水素製造が可能であることを実証

スweepガス無しの膜反応器運転

反応温度依存性 (圧力 : 0.6 MPa)



反応圧力依存性 (温度 : 550 °C)



模擬消化ガス(CH₄ 50% + CO₂ 50%)を原料とし、スweepガス無しで運転し、0.6 MPa, 600 °C にて、転化率 54 %, 水素純度 94 % を実現

想定される用途

- 下水処理施設, 廃棄物処理施設等でのエネルギー自給率向上
- バイオガス以外の原料からの高純度水素製造, および高純度二酸化炭素回収
- 新規化学プロセスの構築

実用化に向けた課題

- 高圧での膜反応器運転による、高純度水素製造、および高純度二酸化炭素回収の実証
- 実バイオガスを用いた膜反応器運転と安定性評価
- 膜反応器の大型化，低コスト化
- SOFCとの一体化システム開発

企業への期待

- 実バイオガス, 実証サイトの提供, および共同研究
- 膜反応器の大型化, 低コスト化, SOFCとの一体化システム開発に関する共同研究

本技術に関する知的財産権

発明の名称	: 水素製造装置、水素分離膜及び 水素分離膜の製造方法
出願番号	: 特願2020-161352
出願人	: 工学院大学
発明者	: 赤松憲樹、中尾真一、鈴木優斗

産学連携の経歴

2017-2019年度

国土交通省 下水道技術研究開発(GAIA)

2021-2022年度

一般社団法人カーボンリサイクルファンド研究助成

お問い合わせ先

工学院大学
総合企画部 産学連携室

T E L 042-628 - 4928

F A X 042-626 - 6726

e-mail sangaku@sc.kogakuin.ac.jp